

ISLA DE CALOR URBANA. EFECTO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS GRADOS DÍA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL GRAN MENDOZA. INFORME DE AVANCE

Correa, Erica^{1*}; De Rosa, Carlos ^{2*}; Lesino, Graciela^{2}.**

* Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. LAHV-INCIHUSA-CRICYT-CONICET

Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 Mendoza. Tel. 0261 4287370.

Fax: 0261 4287370 E-mail: ecorrea@lab.cricyt.edu.ar

**INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa.– CONICET. Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital – Argentina. Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255489 E-mail:

lesino@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presenta la distribución geográfica de los grados día de calefacción y refrigeración para el AMM bajo la influencia de los efectos térmicos propios de la existencia de la ciudad. El confort urbano y el consumo de energía de los edificios dependen de las condiciones climáticas locales dentro del cañón urbano, es por ello que en esta investigación los valores correspondientes a los grados día tanto de calefacción como de refrigeración se calculan a partir de los registros de temperatura de 16 estaciones automáticas de adquisición de datos que cubren las zonas de desarrollo de la ciudad, y los datos interpolados se representan cartográficamente mediante sistemas de información geográfica. Los resultados obtenidos muestran una subestimación de hasta el 9 % en las necesidades de refrigeración de la ciudad, respecto a los valores obtenidos mediante el método tradicional a partir de los datos de la estación meteorológica y en el caso de la demanda de calefacción se detecta una sobreestimación de la demanda de hasta un 50%.

Palabras clave: Grados-día de calefacción y refrigeración. Isla de Calor Urbana. AMM. Consumo de energía.

1. INTRODUCCIÓN

Las consecuencias del cambio climático y la crisis energética tanto a nivel mundial como a nivel nacional, en adición a la liberalización del mercado eléctrico argentino desde la década de los '90, ha generado la concientización del uso racional de la energía en los diversos sectores de la población.

El sector residencial-comercial es particularmente intensivo en el consumo de energía, tanto de combustibles fósiles como de electricidad para el acondicionamiento térmico de los espacios en verano o en invierno. Investigaciones llevadas a cabo en el sector edilicio europeo indican que este sector consume alrededor del 40% del total de la demanda de energía (CEC, 1990). Los edificios son responsables del 18% de las emisiones de CO₂, 10% de las emisiones de CO, 6% de las emisiones SO₂ y 4% de NO_x, todos ellos gases que generan el calentamiento global del planeta (CEC, 1996). Se establece además que aproximadamente el 70% de la energía consumida por el sector edilicio se destina al acondicionamiento térmico de los espacios (CEC, 1995).

Las investigaciones de la influencia del clima sobre el consumo de energía, han confirmado que la temperatura exterior es usualmente la variable más significativa (Sailor y Muñoz, 1997). Diferentes modelos estadísticos han sido desarrollados usando dos conjuntos de variables independientes, las variables primitivas (temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad de viento, presión y radiación solar) o las variables derivadas a través del concepto de grados día de calefacción y refrigeración las cuales se utilizan frecuentemente en el cálculo de la carga térmica necesaria para el acondicionamiento de los espacios.

Por otra parte el proceso de explosión demográfica que se produjo durante las últimas décadas y que trajo aparejada la expansión urbana a expensas del campo o de áreas ocupadas por vegetación natural ha modificado el balance radiativo de las ciudades, modificando el clima local de las mismas y generando el efecto conocido como isla de calor urbana, que se manifiesta mediante un incremento de las temperaturas en el centro de la ciudad respecto de la de los alrededores.

Estudios llevados a cabo en la última década que correlacionan el consumo de energía con el efecto de isla de calor han observado que para ciudades con más de 100 000 habitantes los consumos de energía en las horas pico se incrementan 1.5 a 2% por cada grado que se incrementa la temperatura. (Akbari et al, 1992). Además propicia el aumento de la contaminación ambiental en dos formas: de un modo directo dado que mayores temperaturas urbanas funcionan como catalizador de las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera generando mayor cantidad de smog; la producción de smog aumenta un 5% por cada 0.5 grado °C que se incrementa la temperatura máxima diaria por encima de los 20 °C; y de un modo indirecto pues el aumento de consumo de energía hace que las plantas generadoras de energía eléctrica liberen mayores cantidades de gases de combustión (CO₂, CO, NO_x, SO_x, vapor de agua y metano); que generan el calentamiento global o efecto invernadero y la lluvia ácida entre los efectos ambientales más conocidos.

En este trabajo se presenta la distribución de los grados día de calefacción y refrigeración para el AMM bajo la influencia de los efectos térmicos propios de la existencia de la ciudad, esto es de particular importancia; pues es ésta el área de mayor

¹ Becaria CONICET

² Investigador CONICET

crecimiento edilicio y demográfico; y en ella se concentra la mayor parte de la demanda energética de la provincia. Por lo tanto es importante contar con información bioclimática precisa del área metropolitana a fin de optimizar el diseño edilicio de la misma y contabilizar adecuadamente el impacto energético y ambiental de los efectos de la urbanización.

2. AREA DE ESTUDIO E IMPACTO LOCAL

En el caso del área de estudio conocida como “El Gran Mendoza” o Área Metropolitana de Mendoza (AMM), la cual se encuentra situada al norte de la provincia, su población urbana ha crecido un 14 % durante la última década y con más de 900.000 habitantes es la quinta aglomeración de la República Argentina. Sus características climáticas: sequedad, elevada heliofanía y escasa frecuencia e intensidad de vientos y precipitaciones; inviernos fríos y secos con predominio de tiempo estable y sin viento; más una anomalía térmica positiva en altura y las frecuentes inversiones de temperatura son condiciones óptimas para la formación de la isla de calor que en ciertos sectores de la ciudad es más acentuada que en otros dependiendo de su posición respecto al sentido de las brisas locales, la densidad de edificación, etc. El fenómeno alcanza una intensidad máxima de 9°C en verano y 8°C en invierno, y su valor varía estacionalmente tanto en magnitud como en el sentido de desarrollo dentro del AMM. El mismo se manifiesta usualmente durante las últimas horas de la noche y las primeras de la mañana. (Correa, et al; 2005)

Hasta el momento tanto para correlacionar los consumos de energía del AMM, como para el cálculo de las cargas de acondicionamiento térmico de los edificios los valores de grados día de calefacción (HDD) y grados día de refrigeración (CDD), han sido obtenidos por diversos métodos a partir del procesamiento de la información climática suministrada por las estaciones meteorológicas de la región, que usualmente se encuentran en las afueras de los centros urbanos, esto sucede también en el caso particular de Mendoza, por lo que los valores calculados para la zonificación bioclimática no toman en cuenta el efecto de la existencia de la ciudad sobre el clima de la región.

En Mendoza, el consumo de energía eléctrica en el año 2003 mostró un incremento del 5,9% respecto del 2002 alcanzando los 3,5 millones de MWh y en el 2004 del 8% alcanzando los 4,05 millones de MWh de consumo anual (ver figura 1). Los sectores de mayor representatividad dentro de la distribución son: el residencial con una participación de 25% y el comercial con el 16%, presentando un crecimiento respecto del año anterior del 24, 5% para el sector comercial y del 3% para el residencial (IERAL, 2005).

En el caso del gas natural el consumo en la provincia durante el año 2003 experimentó un aumento del 15,7%, respecto del año anterior, llegando a los 1.410 millones de m³ y del 9 % en el 2004 alcanzando los 1590 millones de m³ anuales. Los sectores de mayor participación son el residencial con un 22% y el de las usinas eléctricas con un 38% (Day, J; 2005); (ver figura 2). Debido a la composición del mix energético argentino, estos sectores se encuentran estrechamente vinculados; pues el 44% de la misma es de base térmica, con gas natural como combustible principal, por lo que un incremento en la demanda de energía eléctrica se traduce necesariamente en un aumento en el consumo de gas natural, esto sucede principalmente en verano, y en años con baja disponibilidad de recursos hídricos tales como los correspondientes al 2003 y 2004.

Por otra parte el 70% de los usuarios de gas natural y energía eléctrica contabilizados en la demanda provienen del área metropolitana de la provincia, que es además el espacio de mayor crecimiento urbano y demográfico. Todo lo expuesto anteriormente avala la importancia de la investigación que se propone llevar a cabo.

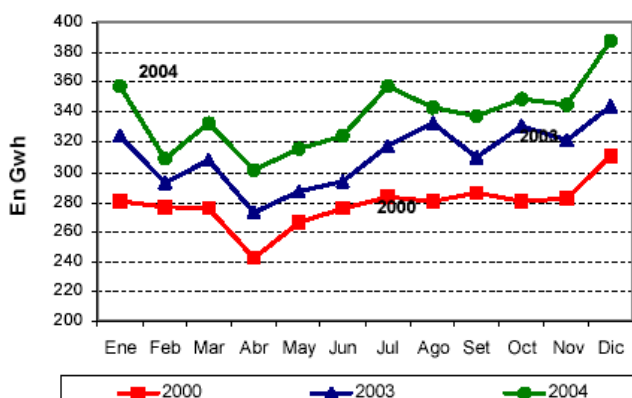


Fig.1 Demanda de energía eléctrica periodo 2000-04 Mendoza

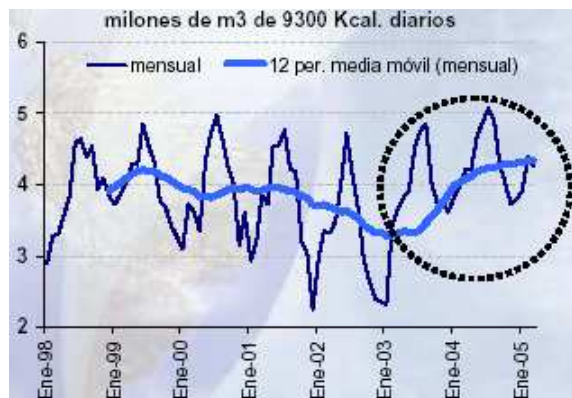


Fig.2 Consumo de gas natural periodo 98-2005. Mendoza

3. METODOLOGÍA

El confort urbano y el consumo de energía de los edificios dependen de las condiciones climáticas locales dentro del cañón urbano. Con el objeto de monitorear el comportamiento térmico de la ciudad de manera continua a partir del 15 de enero de 2005 se han instalado en 16 puntos de los 69 evaluados inicialmente, estaciones automáticas de medición de temperatura y humedad, que registran las condiciones del cañón urbano cada 15 minutos, ver figura 3. Las estaciones son del tipo H08-003-02, con dos canales internos: Temperatura, rango de medida -20° a 70 °C, precisión ±0.7° a 21 °C y Humedad Relativa, rango de medida 25% a 95% (user-replaceable RH sensor), precisión: ±5% RH. Los sensores se han colocado a una altura de 2.5 m desde el nivel de la calle (Oke, 2004), dentro de cajas perforadas de PVC blanco perforadas a fin de evitar irradiación y asegurar una adecuada circulación de aire, ver figura 4.

El cálculo de los grados día de calefacción y refrigeración se ha llevado a cabo a partir de los datos registrados por las estaciones urbanas de adquisición automática, aplicando a cada serie de datos el método desarrollado por Erbs, et al (1983),

que se describe en Al-Homud (1998). Los cálculos han sido realizados tomando como temperatura base 18°C, esta temperatura ha sido seleccionada a partir de la grafica de la distribución de los consumos de energía versus la temperaturas medias registradas (Pardo et al, 2002), la curva de tendencia de esta distribución muestra un punto de inflexión alrededor de los 18°C. Los datos han sido comparados con los que se obtendrían de la aplicación del método a los datos provenientes de la estación meteorológica aeropuerto(-32,85° latitud, 68,78° longitud y 700 m de altitud) ubicada en el sector NE en las afueras de la ciudad. Si bien esta zonificación obtenida a partir del registro de datos adquiridos durante el primer semestre del año 2005, no tiene rigurosidad meteorológica, pues se requiere de series de tiempo de mayor extensión, es de valor para demostrar el impacto de despreciar el efecto de la ciudad, en el cálculo de los HDD o CDD. En la tabla 1 se muestran los datos registrados por la estación aeropuerto para el 2005 versus los datos registrados para la década del 90, de la comparación se observa que el año de monitoreo no presenta comportamiento atípico que desestime las conclusiones que a partir del mismo puedan resultar.

Tabla 1. Temperaturas medias registradas por la estación Aeropuerto para la década del 90 y el año 2005.

Temperatura media mensual	Enero °C	Febrero °C	Marzo °C	Abril °C	Mayo °C	Junio °C
Aeropuerto 90's	24,9	23,5	19,9	15,40	11,6	7,90
Aeropuerto 2005	25,3	24,2	20,3	14,8	12,1	9,5

Para el mapeo de los HDD y CDD, los valores calculados a partir de los datos monitoreados se han representado cartográficamente mediante el software para sistemas de información geográfica ArcView 3.2. Los grados día de calefacción y refrigeración calculados a partir de los datos registrados por la cada estación fija colocada dentro de la trama urbana se han interpolado con el objeto de obtener una zonificación de su distribución dentro del Área Metropolitana del Gran Mendoza (AMM). Las interpolaciones se han llevado a cabo mediante el método IDW (inverso de la distancia), que versus el método Krigging Universal y el Spline, ha demostrado ser el más adecuado ya que es el método que minimiza el error cuadrático medio. En el método de interpolación gravitacional o inversa de la distancia (IDW), Eq.01, cada punto muestral ejerce una influencia sobre el punto a determinar que disminuye en función de la distancia. Así cada punto vecino contará con un “peso” en la determinación de la temperatura del punto a interpolar, que será mayor cuanto más cerca se encuentre, siguiendo el principio de correlación espacial, Eq.02

$$Z(p_n) = \sum_{i=1}^n w_i * Z(p_i) \tag{Eq.01}$$

$$\text{siendo los pesos, } w_i = \frac{1/d_i^p}{\sum_{i=1}^n 1/d_i^p} \text{ y la suma igual a 1, } \sum_{i=1}^n w_i = 1 \tag{Eq.02}$$

Según varios autores (Declercq, 1996) el valor del exponente (p) igual a 2 es el que genera mejores resultados empíricos y requiere menores requerimientos computacionales. En general, el valor más adecuado será aquel que minimice el EMC (error medio cuadrático). Para favorecer los cálculos, el número y la distancia a los puntos vecinos a tener en cuenta, tiene que obviar aquellos demasiado alejados, y restringirlos a un número determinado. Consideramos un radio variable, con un límite máximo de 2000 m y un número de 12 puntos para el análisis.

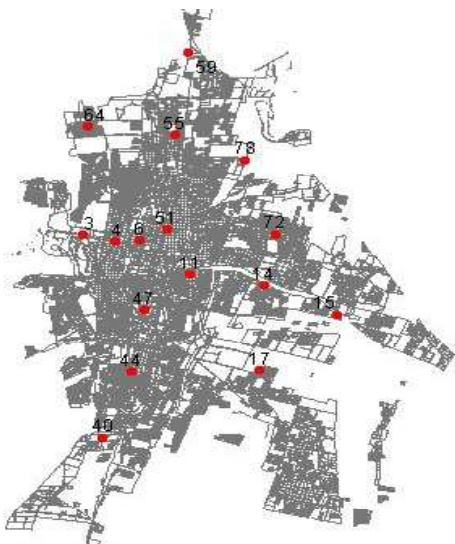


Fig. 3. Grilla de estaciones fijas dentro de AMM



Fig. 4. Instalacion de las estaciones en AMM

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En las tablas siguientes (ver tablas 2 a 5) se muestran los valores calculados para los grados día de calefacción y refrigeración a partir de los datos adquiridos por las estaciones urbanas, en ellas se comparan los valores de CDD y HDD obtenidos del

procesamiento de los registros de temperatura para la estación N° 50 en el centro de la ciudad, versus los obtenidos a partir del procesamiento de las estaciones colocadas en las afueras de la ciudad que cubren los puntos cardinales más importantes de desarrollo de la ciudad estación N° 59 al Norte; N° 40 al Sur; N° 3 al Oeste y N° 15 al Este (ver figura 3). En las tablas se observan los resultados de comparar estos valores con los que se obtienen a partir de los datos suministrados por la estación meteorológica Aeropuerto. Las diferencias entre los valores calculados a partir de las estaciones urbanas, rurales y el aeropuerto son pesadas porcentualmente para indicar la magnitud del error que se comete en el cálculo de las variables estudiadas al no tener en cuenta el efecto de la ciudad sobre el clima local.

Tabla2. Valores de HDD Y CDD para los puntos extremos de la transecta norte. Comprende estaciones 50, 55 y 59.

	Urbana		Rural		Aeropuerto		Diferencia %		
	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	U-R	U-A	R-A
Enero	246.87		211.70		226.40		17%	9%	-6%
Febrero	190.67		142.55		178.18		34%	7%	-19%
Marzo	82.49		49.04		75.8		68%	9%	-35%
Abril		50.11		127.41		100.06	-61%	-50%	27%
Mayo		142.00		234.83		182.96	-40%	-22%	28%
Junio		177.63		309.85		257.11	-43%	-31%	20%

Tabla3. Valores de HDD Y CDD para los puntos extremos de la transecta sur. Comprende estaciones 50, 47,44 y 40.

	Urbana		Rural		Aeropuerto		Diferencia %		
	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	U-R	U-A	R-A
Enero	246.87		179.68		226.40		37%	9%	-20%
Febrero	190.67		127.31		178.18		50%	7%	-28%
Marzo	82.49		40.40		75.8		86%	9%	-41%
Abril		50.11		130.87		100.06	-62%	-50%	31%
Mayo		142.00		242.74		182.96	-42%	-22%	32%
Junio		177.63		235.54		257.11	-25%	-31%	8%

Tabla 4. Valores de HDD Y CDD para los puntos extremos de la transecta oeste. Comprende estaciones 50, 6, 4 y 3.

	Urbana		Rural		Aeropuerto		Diferencia %		
	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	U-R	U-A	R-A
Enero	246.87		176.14		226.40		40%	9%	-22%
Febrero	190.67		132.48		178.18		44%	7%	-25%
Marzo	82.49		51.57		75.8		60%	9%	-31%
Abril		50.11		94.24		100.06	-47%	-50%	6%
Mayo		142.00		218.69		182.96	-35%	-22%	19%
Junio		177.63		286.64		257.11	-38%	-31%	11%

Tabla 4. Valores de HDD Y CDD para los puntos extremos de la transecta este. Comprende estaciones 50, 11, 14 y 15.

	Urbana		Rural		Aeropuerto		Diferencia %		
	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	U-R	U-A	R-A
Enero	246.87		216.74		226.40		14%	9%	-4%
Febrero	190.67		170.43		178.18		12%	7%	-4%
Marzo	82.49		60.23		75.8		37%	9%	-20%
Abril		50.11		89.05		100.06	-44%	-50%	11%
Mayo		142.00		200.85		182.96	-29%	-22%	9%
Junio		177.63		263.09		257.11	-32%	-31%	2%

En las figuras 5 y 6 se observan los resultados de representación cartográfica de los valores registrados por cada una de las estaciones dentro del área urbana y zonificación correspondiente, la cual resulta de la interpolación de los datos, de los grados día de enfriamiento en diferencias de 21° y de los grados días de calefacción en diferencias de 30°.

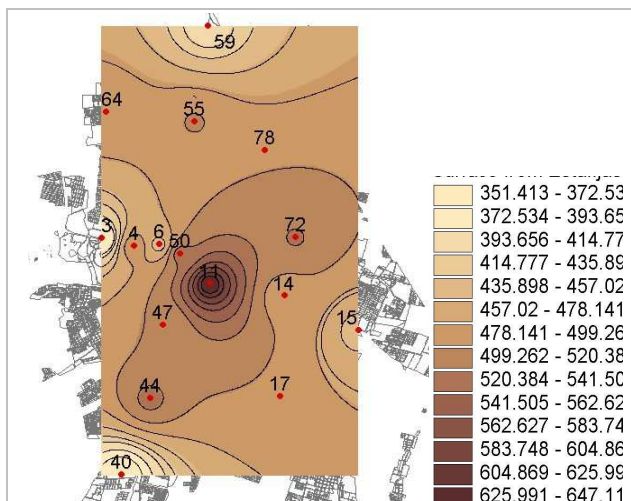


Fig 5. Grados día de refrigeración base 18 para el 1º semestre 05

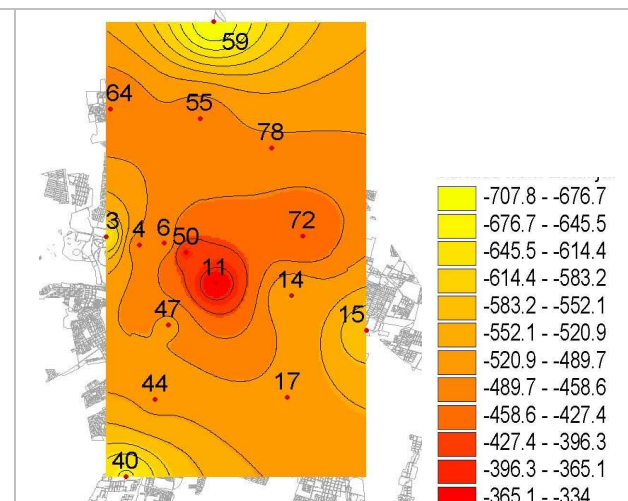


Fig 6. Grados día de calefacción base 18 para el 1º semestre 05

Del mismo modo las figuras 7 a 14 se muestran los valores de la zonificación bioclimática en grados de calefacción y enfriamiento para cada uno de los meses evaluados hasta el momento, para los meses de marzo y abril se presentan tanto los requerimientos de calefacción como de enfriamiento registrados.

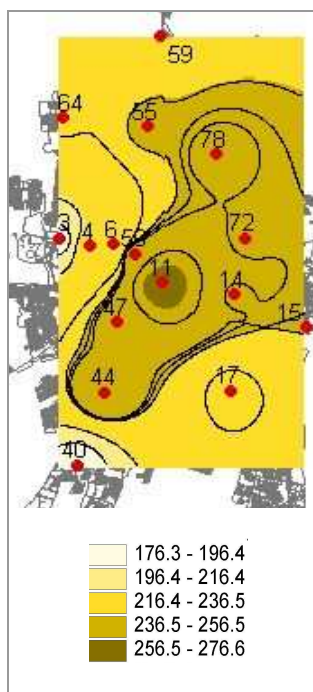


Fig 7. CDD 18 enero 2005

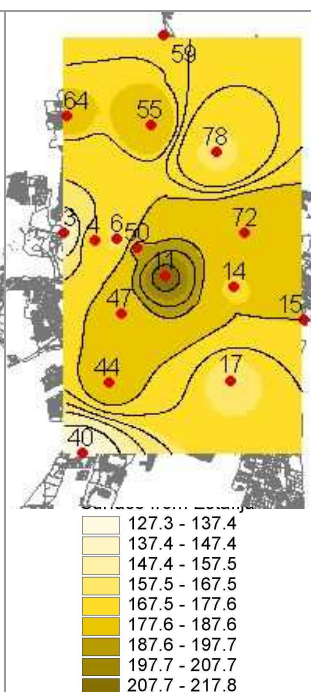


Fig 8. CDD 18 febrero 2005

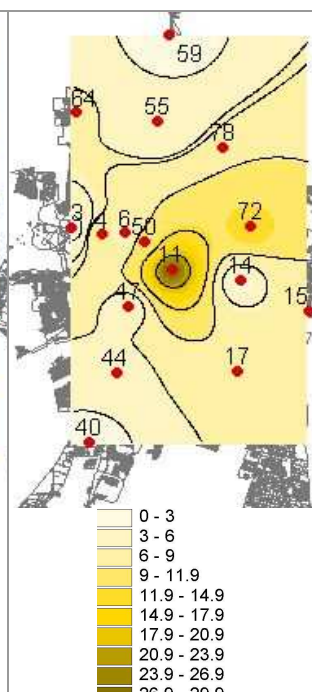


Fig 9. CDD 18 marzo 2005

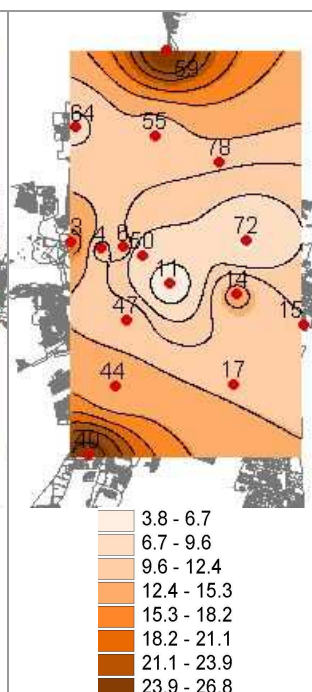


Fig 10. HDD 18 marzo 2005

Del análisis de las tablas se observa que para los meses de verano existe una subestimación en la demanda de refrigeración calculada a partir de los datos de la estación meteorológica que oscila entre el 7 y 9%. Para los meses de invierno ocurre por el contrario una sobrestimación de las necesidades de calefacción que representa un error del 22 al 50% de los valores calculados a partir de los datos de la estación meteorológica.

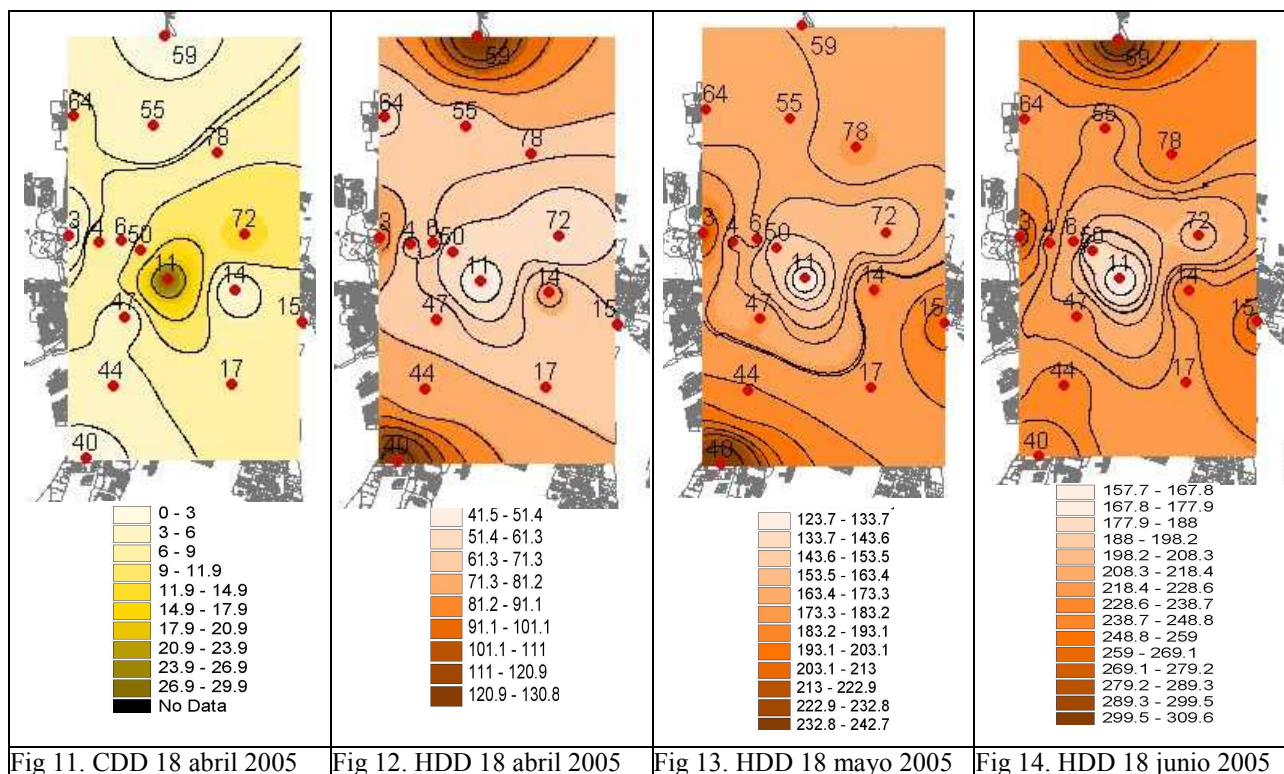
En el caso del comportamiento del centro de la ciudad respecto de sus alrededores vemos que las demandas de refrigeración del centro de la ciudad superan entre un 12 a un 86% las necesidades de los alrededores, dependiendo del mes y el sector de la ciudad evaluado. Registrándose las máximas diferencia en la transecta Sur y Oeste, y las mínimas en la transecta este. La demanda de calefacción para el centro de la ciudad respecto de los alrededores es menor en un rango de 25 a 62%, hallándose la máxima diferencia para las transectas norte y sur y las mínimas para la transecta este.

Del mismo modo del análisis de los requerimientos energéticos de las zonas suburbanas o alrededores de la ciudad respecto de los valores calculados a partir de los datos de estación meteorológica se observa una sobrestimación de entre el 4 y el 41% de las necesidades de enfriamiento, observándose las máximas diferencias para la transecta oeste y sur, y una subestimación de entre un 2 al 32% en el caso de las necesidades de calefacción que registra sus máximos para la transecta norte y sur.

5. CONCLUSIONES

De la observación de los mapas que muestran la zonificación tanto semestral como mensual de las demandas de calefacción y refrigeración. Los resultados obtenidos en forma semestral de las demandas de calefacción y refrigeración presentan rangos semejantes, siendo el correspondiente a la demanda de calefacción levemente superior, sin embargo la zonificación es más

marcada para los meses de invierno (demanda de calefacción). Esto se observa al mismo tiempo en la magnitud del error cometido al desestimar el efecto de la ciudad sobre el clima de la región, el valor de subestimación para los requerimientos de refrigeración en la ciudad superan en un 9% a los estimados a partir de los datos del aeropuerto, mientras que en el caso de la calefacción el valor calculado excede hasta en un 50% las necesidades reales del centro de la ciudad. Esto responde claramente al comportamiento térmico y a las condiciones climáticas que prevalecen en la ciudad. Mientras que en verano los niveles de radiación son altos por lo que los materiales de los alrededores principalmente rocosos, propios del pedemonte se calientan y acumulan calor, homogenizando la distribución de temperaturas durante el día, esto no sucede en el invierno donde al haber menores niveles de radiación los materiales acumulan menos y se enfrían con mayor rapidez acentuando las diferencias de temperaturas entre el centro de la ciudad y los alrededores.



Obtener una zonificación bioclimática del área metropolitana, a partir de grados día que contemplen el efecto de la ciudad sobre las temperaturas del aire y cuantificar la diferencia con respecto a los valores obtenidos a partir de los datos de la estación meteorológica, constituye el primer paso en la obtención de una metodología que permita cuantificar tanto el efecto sobre los consumos energéticos como así también el impacto ambiental asociado al desarrollo del fenómeno de la isla de calor para el área metropolitana de Mendoza.

REFERENCIAS

- Al-Homoud, M.S. (1998). Variable-Base Heating and Cooling Degree Day Data for 24 Saudi Arabian Cities. ASHRAE transactions, 104(2):320-330.
- Akbari H., Davis S., Dorsano S. Huang J. and Winert S. (1992). Cooling our Communities- US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.
- CEC (1990,1995,1996) Passive solar energy as a fuel. The Commission of the European Communities. Brussels.
- Correa E.; De Rosa C.; Lesino G (2005) Isla de calor urbana. El Caso del Área Metropolitana de la provincia de Mendoza, Argentina. Caracterización y Representación. Anales del VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC) y III Workshop IBPSA-Brasil.
- Day, Jorge A. (2005) Magnitud y efecto de la crisis energética en Mendoza
- DECLERCQ, F.A.N. Interpolation methods for scattered sample data: accuracy, spatial patterns, processing time. Cartography and Geographic Information Systems, 23 (3): 128-144, 1996.
- Erbs, D.G., Klein S.A. and Bechman W.A. (1983). Estimation of degree days and ambient temperature bin data from monthly average temperatures. ASHARE journal, 25 (6): 60-65.
- IERAL,2005 – Indicadores de Electricidad, Gas y Agua (EGA). http://www.bolsamza.com.ar/ieral/ieral_completa.htm
- Oke, T.R (1982) The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal Royal Meteorological Society 108 (45) 1-24.
- Pardo A, Meneu V., Valor E (2002). Temperature and seasonality influences on Spanish electricity load. Energy Economics 24: 55-70
- Sailor, D.J., Munoz, J.R., (1997). Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the USA methodology and results for eight states. Energy 22, 987-998.

ABSTRACT: This paper presents the geographical distribution of heating and cooling degree-days in Mendoza's Metropolitan Area taking into account the influence of urban heat island's intensity over the thermal demand in the city. The urban comfort and the energy consumption in buildings depend on the local climatic conditions within the urban canyon. It is for this reason that in this research the value of HDD and CDD has been calculated by means of temperature data recorded in 16 fixed weather stations within MMA and the interpolated data are mapped by using GIS software. The obtained results indicate that exist an under estimation of CDD for the city's center of 9% respect to the value obtained from the meteorological station values, and in the case of HDD there are an over estimation practically of 50%.

KEYWORDS: HDD and CDD. Heat Urban Island. AMM. Energy consumption.